

き、解析および実験的手法で明らかにした。

タンディッシュ内の溶鋼流動を、混合流れ領域、押し出し流れ領域および停滞域の3領域に分割したモデルを用い、各領域での介在物浮上除去率を表す式を導き、介在物の除去には押し出し流れ領域の増大あるいは溶鋼滞留時間の延長の効果が大きいことを示した。

介在物の浮上を促進させるため、タンディッシュ底に設置した多孔板ガス分散器により低ガス空塔速度でガスを吹き込んだ場合の効果につき理論的および実操業実験で明らかにし、とくに、高溶鋼供給速度において、このガス吹込みが介在物浮上に有効であることを示した。

(討12) 介在物浮上のシミュレーション。

(新日本製鉄(株)第一技術研究所 沢田郁夫ほか)

タンディッシュ内での介在物の浮上分離におよぼす諸要因の効果を明らかにするため、三次元熱対流の数値計算により、タンディッシュ内溶鋼の熱対流、介在物除去効率および溶鋼滞留時間分布につきシミュレーションを行った。

介在物浮上分離モデルとして、①平均滞留時間のみを考慮したモデル、②淀み部を考慮した実滞留時間に基づくモデル、および③淀み部と溶鋼の逆混合を考慮したモデルの比較検討の結果、③の淀み部と溶鋼の逆混合を考慮したモデルがタンディッシュ内溶鋼中の介在物挙動を最もよく表すことがわかった。

この結果、タンディッシュ内の溶鋼は、耐火物壁での抜熱による自然対流の影響を大きく受け、また介在物の浮上分離を支配する因子は主に溶鋼の平均滞留時間、淀み率およびペクレ数であることを示した。

(討13) タンディッシュメタラジーの今後の展開

((株)神戸製鋼所技術情報企画部 尾上俊雄ほか)

連続製造技術の発展にともなうタンディッシュの役割の変遷とその背景ならびに関連する技術手段につきまとめた。さらに現在のタンディッシュにおける新しい技術動向と問題点を概説した。

今後のタンディッシュメタラジーの開発にあたっては、タンディッシュの特徴としての、①溶鋼の一方向流れを持つ連続処理プロセスであること、②主たる精錬容器である取鍋の後に位置すること、さらに③鑄型あるいは製品に最も近い位置での精錬であることを十分に認識し、タンディッシュメタラジーに具備すべき精錬機能とその限界を見極める必要がある。また溶鋼精錬としての取鍋精錬、タンディッシュメタラジーおよび鑄込み操業まで含めたトータルプロセスの中で、各精錬機能の最適化を図り、役割分担を明確にすることが重要な課題であることを提言した。

以上の各報告に対し、活発な質疑応答が行われた。また各討論の報告の後にまとめて総合討論を行った。総合討論の概要を表1にまとめて示す。

期待以上に活発な討論が行われ、時間的な制約で議論

を打ち切らざるを得ない状況もあつたが、本討論会の初期の目的は十分達成できたと考えられる。

本討論会を終わるに際し、以下のようにまとめた。

連続製造比率の増大と製鋼プロセスの合理化、多様性の追求に際し、①高能率生産、②高品質鋼の安定製造、および③小ロット品の低コスト溶製のニーズが増大すると考えられる。これらのニーズに応じるためのタンディッシュメタラジーに求められる技術課題は、高能率操業技術、非定常部の品質改善、および高品質スラブの安定溶製の技術水準向上への寄与とさらに成分調整機能の開発と小ロット対応技術としての異材質連々技術の確立である。

これらの技術の工業的確立を可能とする要素技術は、溶鋼流動制御、加熱技術およびセンサー技術等多岐にわたっており、これらの総合化を通じ、タンディッシュメタラジーを活用した新しい製鋼プロセスが戦力化されることを期待します。

また、タンディッシュメタラジーは現在その開発のスタート地点にあると考えられ、今回の討論会では今後のニーズ、可能性という面からの議論が中心になり、その中より今後の方向性が打ち出されたといえる。今後さらに数年後、ある程度工業化が進んだ段階で、再度このような討論会が催され、さらに高次の学術、技術論が展開されることを希望します。

終わりに、本討論会議事のまとめにあたって、多田健一氏(住友金属工業(株)和歌山製鉄所)の協力をいただきましたことを記して感謝致します。

表1 総合計討論概要

I. タンディッシュメタラジーの現状	
1. 介在物除去技術の評価:(コメンター)川崎守夫(住金総研)	
○タンディッシュの大型化	
○ガス気泡による介在物除去機構	
○セキによる介在物除去	
2. 介在物の熱力学と界面反応:(コメンター)向井楠宏(九工大工学部)	
3. 溶鋼加熱技術:(コメンター)梅沢一誠(新日鉄広畑研)	
○誘導加熱技術の現状	
○プラズマ加熱技術の現状	
II. タンディッシュメタラジーの今後:(コメンター)佐伯 毅(新日鉄第三技研)	
1. 役割	
○非定常部の品質向上	○取鍋精錬の肩代わり
○小ロット材低コスト溶製	
2. 技術課題	
○加熱容量の拡大	○連続反応系での均一混合

### III. 圧延プロセスにおける保全技術

座長 住友金属工業(株)和歌山製鉄所

鶴田 毅

近年の圧延プロセスは連続化・自動化が進められ、生産性向上・歩留向上・省力・省エネルギー等に大きな効果をあげた。一方、連続化・自動化が進めば進むほど、品質管理及び物流の上での保全技術の重要性がクローズアップされてくる。この観点より設備診断技術、さらに

はコンピューターを利用した総合保全システムに関する発表・討議し、お互いに研鑽し保全体制を充実させるため、本討論会を企画した。こういった保全技術に関する討論会は初めてであったが、9件の事例発表があり活発にかつ有意義に討論会を実施した。以下にその論旨を記述する。なお、応募討論は、(1)設備診断事例5件、(2)オンラインモニタリング事例2件、(3)総合保全情報管理システム2件であった。

#### (討14) 圧延プロセスにおける設備診断技術

(川崎製鉄(株)千葉製鉄所 笠井 聡ほか)

設備診断を設備の性能診断と故障予知診断に体系化し、圧延プロセスにおける製品品質の保証及び設備故障の予知を実施している。設備の性能診断事例は、圧延機の油圧圧下装置を診断して、ロールの油膜軸受の油膜厚を補償するものである。油圧圧下のポンプオン時の圧延荷重とオフ時の圧延荷重の差を測定することにより、軸受内部のリークの有無を判定し、軸受内部の損傷を診断する方法で効果を上げている。また、故障予知診断の事例として、直流機の絶縁状態を運転中にしかも、回転機側と電源側に分割して監視できるシステムを実用化している。このシステムは、実際のアース電流を検出して、その時の主回路電圧から絶縁値を算出する「実接地電流検出方式」を採用しており、検出精度は±10%程度である。

#### (討15) 棒鋼工場におけるオンラインモニタリングシステムの概要

((株)神戸製鋼所神戸製鉄所 藤岡和明ほか)

自動化・高性能化・複雑化する最近の生産ラインにつれて、その保全も多様化・複雑化しており、故障の部位・原因の解明に長時間を要することが多い。早く、的確に故障部位を知るにはオンラインモニタリングシステムが有効でありその有効性が発表された。しかし、モニタリングシステムそのものの信頼性も問題であり(センサーのトラブル等)、それをカバーするための製品の位置情報及び指令情報をトレースしている。また、自動化された生産ラインの試運転のため模倣的に材料を有無にするプラントシミュレーター機能を使い、設備の動作状態をテストしている。いずれにせよ設備が複雑化すればするほど設備診断の装置・方法も複雑化し、その保全性・信頼性が大きくクローズアップされることが予想される。

#### (討16) 圧延プロセスにおける設備診断技術

(新日本製鉄(株)第一技術研究所 中嶋 智ほか)

討15でも発表されたが、最近の生産ラインは稼働当初からオンラインモニタリング装置が設置されている。これによりラインの立上げを円滑にし、しかも稼働直後からの設備状態が保存され、以降の保全データとして活用されている。このモニタリング情報を利用し、熱延工場では圧延機の圧下装置及び巻取り機の油圧回路のトラブルシューティングを実施している。このトラブルシュー

ティングはあいまい論理を用い、故障原因と症状をそれぞれあいまい集合とみなし、両者の間に成り立つあいまい関係式の逆演算により診断を行うものであり、少ない情報でも可能性のある故障の原因を引き出すことができる。今後開発されるであろうエキスパートシステムとの違いも関心の大きいところである。

#### (討17) 保全遠隔集中監視システム

(住友金属工業(株)鹿島製鉄所 加山誠視)

設備の状態をオンラインでモニタリングする目的は、(1)突発故障の未然防止、(2)状態監視保全の実現、(3)点検作業の効率化、(4)製品品質保証を設備面から支援があるが、このシステムは点検の効率化に主眼がおかれた典型的な事例である。工場単独のモニタリングではなく、製鉄所内全工場のモニタリング情報を1か所に集中し、そこで全体の監視を可能としている。また各工場のトラッキング情報の出力、設備の遠隔運転(遮断器の投入、遮断)もこのシステムは有している。

#### (討18) 熱延巻取機へのプロセス診断技術の適用

(日本鋼管(株)福山製鉄所 吉本松男ほか)

設備診断の目的を討17で記述したが、この発表は製品品質の保証を目的とした設備診断事例である。熱延工場の巻取機ではトップマーク、セグメントマーク等の疵とコイル形状が問題となる。巻取機各部位の劣化量(ギャップ等)に加えて、動作状態(動作速度、動作位置、動作力等)とコイル形状・疵との因果関係を把握し、コンピューターにインプットする。これによりコイル1本ごとに監視可能となつた。ただし、コイルの形状・疵はストリップの温度厚み・形状等に影響も大きく、まだ完全とはいえない。しかし今後継続してデータ採取し製品品質と設備の状態との因果関係が科学的に裏付けされるとともに、品質異常の監視または予知に効果を上げるであろう。

#### (討19) 油圧圧下系への設備診断技術の適用

((株)神戸製鋼所加古川製鉄所 浜口理彦ほか)

鋼板の品質向上を目的として、油圧圧下装置による油圧 AGC を導入し効果を上げている。この油圧圧下システムを常に最適状態で使用できるよう設備診断を実施している。理論解析として、圧延特性式、油圧サーボ系の動特性式及び AGC 制御ロジックの数学モデルを作つた。このモデルをもとに現代制御理論を適用し、安定条件及び AGC システムの動特性を最適に制御する制御ゲインを得た。この結果、油圧圧下系においてサーボ系の特性とミル定数が安定性及び最適ゲインに大きく影響することが明らかになつた。ミル定数についてはミルヒステリシスとともに機械的対策を実施し定期的に測定することで一定に管理できるようになつた。サーボ系の特性は周波数応答特性測定装置を開発し、これによる診断方法を確立した。これにより、応答性低下の診断とサーボ弁取替とゲイン調整によつて安定に維持することが可能

となつた。

(討20) フェログラフィによる潤滑系診断技術

(新日本製鉄(株)名古屋製鉄所 倉橋基文ほか)

鉄鋼業は巨大な装置産業であり、大量かつ多種多様な潤滑剤が使用されている。この潤滑剤は設備寿命にも重要な役割を担い、かつメカロス防止等による省エネの観点からも油種選定は重要である。米国海運が開発したフェログラフィー(油中摩耗粉分析法)を応用し、潤滑の異常予知及び最適潤滑剤の開発を行つた。フェログラフィーは SAOP 法に比べ  $5\mu\text{m}$  以上の摩耗粒子の検出感度が高く、また摩耗粒子形態を直接観察可能である。フェログラフィーの分析は磁気こう配を有する強力マグネット上のスライドに油を流し、流下の過程で摩耗粒子が磁力線の方向にかつ、流れの方向に大きさの順に整然と配列させて行くものである。潤滑剤の診断により、装置の劣化を知るのみではなく安価な高性能な潤滑剤を見つけまたは開発し、省エネルギーも含めて潤滑コストを下げる攻めの潤滑管理を実施している。

(討21) 保全管理システムによる保全活動と品質管理

(川崎製鉄(株)千葉製鉄所 長谷川恒也ほか)

(討22) 最新 OA 機能を駆使した設備保全情報管理システムの開発

(住友金属工業(株)和歌山製鉄所 富川 健ほか)

討21・討22は設備、部品・資材の情報から、点検・修理等の保全に関するすべての情報を一元管理し、保全コストミニマムで突発故障の防止、品質故障の防止を狙つたコンピューターシステムである。オイルショック以降の鉄鋼業の環境変化に対し保全ニーズも変化した。これに対応して保全戦略は TBM から CBM へと移行した。この CBM をシステムマティックに実行する道具としてこのシステムが存在する。もちろん、このシステムは CBM のサポートのみならず保全業務の効率化及び保全業務を科学的に実施する機能を持っている。今後、オンラインモニタリングを含めた設備診断システム、あるいは AI による故障診断システムとうまく結合し、真の総合保全情報管理システムとして完成することが期待される。

最後に、保全技術に関する討論会という初めての論題にもかかわらず9件もの応募をいただき、また講演者をはじめ本討論会に参加いただき熱心に討論下さつた各位に深く感謝致します。今後、各社・各位がお互いに研鑽し設備保全に関する保全技術の向上はもちろん、製品品質を保証する保全技術となることを祈念して本討論会の概要報告とする。

#### IV. 粒界偏析挙動と鋼の性質

座長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所

榎 並 禎 一

鋼の高純度化技術の進歩に伴つて、微量元素が関与す

る現象、性質を正しく理解することが重要となつている。粒界偏析もそのひとつであり、破壊、腐食、変態、再結晶など多くの鋼の性質に影響を与えている。

一方、分析技術の進歩によつて偏析状態に関するより詳細な知識が得られるようになっており、特に最近では粒界偏析元素の挙動に及ぼす第3元素の影響に関する研究が多く、新しい知見が得られている。

このような状況下で、最近の研究成果を整理し、問題点を討論するために本討論会が企画された。今回はPの粒界偏析と破壊に関する報告(4件)、ステンレス鋼におけるPの偏析と粒界腐食に関する報告およびBの偏析挙動と直接焼入時の焼入性に関する報告(2件)が発表された。

(討23) 低合金鋼の焼きもどしにおける粒界、ミクロ界面への偏析挙動の解析

(新日本製鉄(株)第一技術研究所 巽 宏平ほか)

0.2% C 鋼を用いて、焼きもどしによる P, C, Mn および Mo の粒界偏析量を測定し、これらへの Mn, Mo 含有量の影響を調べた。

オージェ電子分光分析において、スパッター後のC量を析出C量と考えて、粒界固溶C量を分離測定した結果粒界偏析C量は Mn の増加とともに減少するのになし、Mo の増加とともに増加する傾向を示した。さらに Mn の増加とともに粒界のPおよび Mn 量が増加することから、Mn と P との間に共偏析の可能性が、C と P との間にはサイトコンペティションの可能性が示唆された。

新しい界面偏析解析技術として、アトムプローブ電界イオン顕微鏡を用いた、ラスマルテンサイト界面およびセメントタイトの解析例が紹介された。ラスマルテンサイト界面においても、P と C の偏析挙動が Mn 鋼と Mo 鋼とでは逆傾向になることが示された。

(討24) 浸炭肌焼鋼の靱性に及ぼすPの影響

(大同特殊鋼(株)中央研究所 並木邦夫ほか)

機械構造用鋼 SCM および SCr を用いて、浸炭層の靱性、粒界破面率および偏析P量に及ぼす P, Mo の影響を調査した結果が報告された。

0.20% Mo の添加は粒界破面率を下げて靱性を改善させるが、オージェ電子分光分析の結果ではPの粒界偏析を抑制する効果はない。したがつて Mo 添加の効果は粒界偏析したPの脆化作用を抑制することに求める必要がある。

(討25) 高純度鉄におけるPの粒界偏析とP-C相互作用

(日本鋼管(株)中央研究所 稲垣裕輔)

Pの粒界偏析が生じる過程とそれへのC量の影響を、粒界偏析量、破壊特性、回復再結晶挙動の測定によつて調べ、この過程でのPとCの相互作用について論じた。

850°C からの溶体化ままではCはPの粒界偏析を抑制しているが、500°C 96 h 時効後では偏析P量はC含有